

Cicli di lavorazione sistemi AFR

Automatic Feature Recognition (AFR) rappresenta il principale approccio per lo sviluppo di sistemi CAPP completamente automatici (generativi), ovvero in grado di realizzare, senza alcun intervento di un operatore, cicli di lavorazione per pezzi meccanici da lavorare alle macchine utensili

Introduzione

Per sistema CAPP (Computer Aided Process Planning), si intende uno strumento in grado di interfacciare la fase CAD (Computer Aided Design) di progettazione e realizzazione del disegno tecnico di componenti meccanici, con la fase di produzione, ovvero di stesura del ciclo di lavoro. Un CAPP è letteralmente uno strumento da impiegare nella fase di *pianificazione* del processo di fabbricazione, ovvero di definizione del ciclo di lavoro, cioè la sequenza delle operazioni, a partire dalle informazioni geometriche e tecnologiche associate al modello tridimensionale del pezzo.

I dati in uscita dalla fase CAPP, laddove presente, vengono trasferiti direttamente in ingresso per la fase CAM (Computer Aided Manufacturing), la quale permette la redazione del part-pro-

gram per l'esecuzione del ciclo su macchine utensili a controllo numerico senza l'ausilio di un operatore, poiché il modulo CAPP ne contiene l'esperienza (fig. 1).

Il CAPP rientra nella categoria dei sistemi cosiddetti "esperti", ovvero dei sistemi capaci di immagazzinare dell'esterno l'esperienza necessaria per affrontare i problemi che a esso vengono di volta in volta proposti.

In [1] viene fornita un'ampia classificazione dei numerosi tipi di sistemi CAPP appartenenti alle due tipologie, integrata con esempi applicativi.

Le due principali categorie in cui si possono classificare i sistemi CAPP sono quelle dei sistemi "varianti" e dei sistemi "generativi".

Mentre i CAPP varianti richiedono una interazione con l'operatore durante la definizione del ciclo di lavoro, fornendo così uno strumento di aiuto integrativo all'attività intellettuale dello stesso, quelli generativi rappresentano sistemi completamente automatici che non richiedono interventi esterni. Un'altra importante differenza tra i due sistemi è nel grado di generalizzazione. I sistemi varianti operano su varianti (famiglie) di componenti simili secondo una logica di classificazione.

I CAPP generativi, provvedono di solito allo svolgimento di due attività principali:

- 1) trasformano in maniera efficace le informazioni geometriche del componente da lavorare alle macchine utensili, definite dal modello CAD, in informazioni utilizzabili al fine della pianificazione del processo di fabbricazione;
- 2) definiscono il ciclo di lavorazione (identificazione del grezzo di partenza, selezione degli utensili, pianificazione del set-up, selezione delle macchine, della sequenza ottimizzata di operazioni, determinazione delle condizioni e dei parametri di taglio).

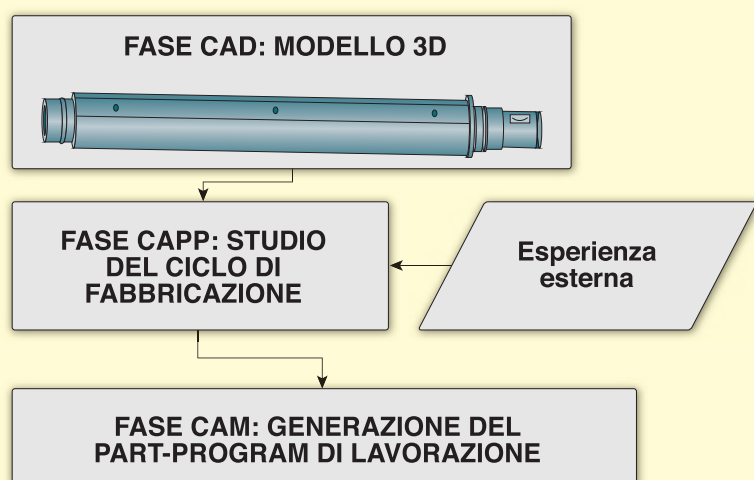


Fig. 1 - Sistema CAPP e interfaccia tra la fase CAD e la fase CAM.

automatizzati tramite

L'attività di estrazione delle informazioni geometriche (*feature di forma*¹⁾ dal modello CAD, e di traduzione di queste in *feature di lavorazione*² per la pianificazione del processo può essere affrontata attraverso due diversi approcci principali: (1) progettazione per feature (Design By Feature) – DBF; (2) Automatic Feature Recognition – AFR.

Le tecniche DBF richiedono l'esistenza di una libreria presente nel software, contenente le forme delle *feature di lavorazione* già definite a priori in base al background aziendale (lavorazioni ricorrenti, tipo di macchinari, esperienza, tipo di realtà industriale); questo approccio prevede quindi la ricerca nel modello delle *feature di lavorazione* presenti nella libreria (scanalature, fori, tasche, raccordi, smussi ...), attraverso le quali si dovrà basare la pianificazione delle attività di lavorazione; le tecniche DBF risultano adatte quindi al trattamento di pezzi simili che presentano lavorazioni ricorrenti.

Le tecniche AFR trattate in questo articolo, comprendono invece la ricerca delle geometrie costruttive della parte al fine di estrapolare informazioni che caratterizzano *feature di forma* generiche (forme tridimensionali nello spazio), alle quali possano essere associati diversi modi di lavorazione a seconda delle relazioni di adiacenza; gli approcci di questo tipo hanno quindi come unico obiettivo quello di creare un algoritmo capace di riconoscere la geometria della parte come unione di diverse *feature di forma*.

Nelle tecniche AFR quindi le *feature di lavorazione* vengono create a posteriori a partire dall'unione di *feature di forma* (fig. 2).

Metodi AFR per il riconoscimento

I compiti principali di un sistema AFR

Le tecniche AFR garantiscono lo sviluppo di sistemi più completi e di uso più generale. I sistemi operano secondo tre fasi principali (fig. 3):

1) estrazione delle geometrie elementari (*feature di forma*) di un componente presente in un file prodotto da software CAD. Tali geometrie sono necessarie per rappresentare il componente in modo da consentire il riconoscimento delle *feature di lavorazione*. Per fare questo la tecnica più usata è quella della Boundary representation³ (B-rep), nella quale le *feature di forma* sono rappresentate da vertici, spigoli e superfici di forma varia della parte;

Glossario

Feature di forma: Entità volta a identificare una particolare forma piana o tridimensionale dello spazio; "feature" significa infatti dall'inglese "caratteristica"; alcuni esempi di *feature di forma* possono essere rappresentati da elementi volumici (cubo, sfera, parallelepipedo etc.) o da elementi piani (superfici planare, cilindrica, sferica, etc o linee rette o curve indicanti spigoli del pezzo). Una *feature*, sia di "forma" che di "lavorazione", può presentarsi in modi diversi a seconda del metodo AFR che si va a utilizzare.

Feature di lavorazione: Entità volta a rappresentare una forma composta dello spazio, che identifica una lavorazione (o un insieme di lavorazioni) di asportazione di truciolo, necessaria all'ottenimento di quella particolare geometria; la forma di una *feature di lavorazione* viene sempre ottenuta come unione di due o più *feature di forma* (es. la *feature di lavorazione* "foro cieco" è ottenuta dall'unione di *feature di forma* come "superficie cilindrica di sezione circolare", "superficie conica", e "superficie piana di testa").

Boundary Representation: Spesso abbreviato come "B-rep", si tratta di un metodo di rappresentazione di un modello tridimensionale attraverso entità geometriche "delimitate" (boundary = confine); i principali elementi che definiscono un modello in questo tipo di rappresentazione sono le facce, parti delimitate di superfici, gli spigoli, parti delimitate di curve, e i vertici. Un solido viene quindi definito come un insieme di superfici connesse, che ne rappresentano il confine esterno.

ASCII: Acronimo di **American Standard Code for Information Interchange**, è un sistema di codifica dei caratteri a 7 bit comunemente utilizzato nei calcolatori, accettato come standard dall'ISO (ISO 646). Un file con struttura ASCII è leggibile semplicemente attraverso un qualsiasi editor di testo.

2) rappresentazione della parte in maniera da rendere possibile l'identificazione delle *feature di lavorazione*; attraverso il modello B-rep, le *feature di forma* vengono rappresentate in modo diverso a seconda del metodo AFR che si va a utilizzare;

3) riconoscimento delle *feature di lavorazione*, attraverso confronto di set di *feature di forma* adiacenti tra loro con modelli di *feature di lavorazione* presi da una libreria interna al software; nel caso di sistemi avanzati, basati per esempio su sistemi esperti, è possibile l'acquisizione di know-how da parte del sistema, ovvero nuovi modelli di *feature di lavorazione* possono essere creati da forme per esempio non riconosciute.

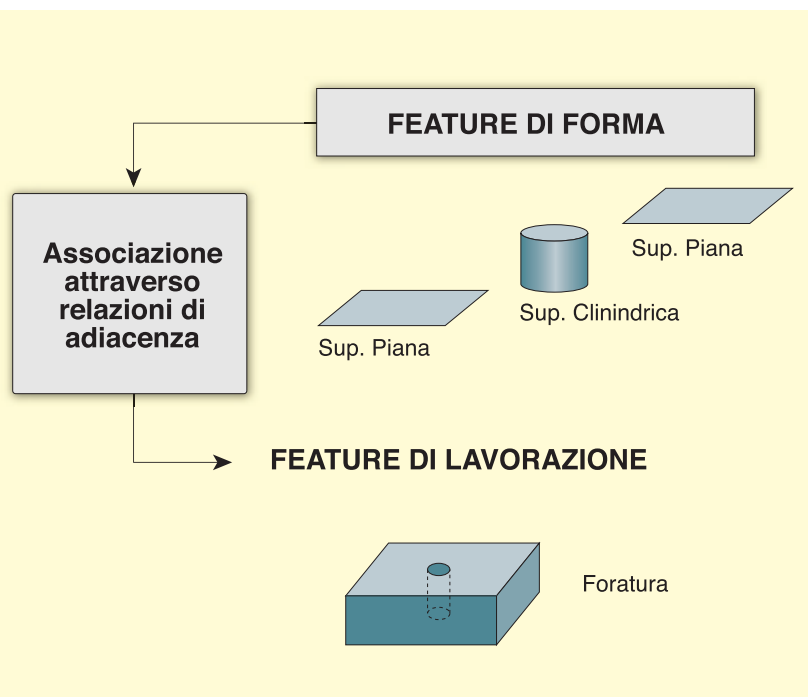


Fig. 2 Relazione tra *feature di forma* e *di lavorazione*

Estrazione delle geometrie elementari

L'estrazione delle geometrie elementari, ovvero delle *feature di forma*, dal modello 3D prodotto tramite CAD dipende dal tipo di file.

Tra le principali estensioni usate per lo scambio d'informazioni geometriche tra diversi sistemi ricordiamo: il formato STL, il formato STEP (protocollo AP203 e AP214) e il formato IGES.

STL, acronimo di *Standard Triangulation Language To Layer* è stato inizialmente sviluppato allo scopo di trasferire i dati geometrici del pezzo a sistemi di prototipazione rapida; non a caso infatti questo formato è attualmente accettato come standard da quasi tutti i sistemi di questo tipo in commercio.

STL è un formato in cui vengono riportati elementi finiti triangolari, attraverso i quali viene discretizzato il modello tridimensionale della parte, ognuno dei quali viene rappresentato mediante le coordinate dei suoi tre vertici (punti della superficie esterna) e mediante il versore normale all'elemento.

In [2] viene presentato un sistema AFR in cui l'estrazione d'informazioni geometriche è basata sull'analisi di un file STL creato direttamente da CAD. Il metodo proposto individua superfici generiche esterne del modello, attraverso analisi di ogni nodo, ovvero di ogni vertice appartenente a più elementi triangolari adiacenti. Attraverso regole analitiche che si basano principalmente sulla inclinazione relativa tra gli elementi e sul rapporto

base-altezza di ogni triangolo, si possono individuare le curvature principali nell'intorno del punto, potendo in questo modo associare al risultato ottenuto il tipo di superficie elementare con cui si ha a che fare.

Tali superfici risultano essere pari a otto (fig. 4), ognuna delle quali viene caratterizzata mediante il segno della curvatura gaussiana e della curvatura media nell'intorno del nodo in analisi (tab. 1).

Oltre alle superfici, viene proposto inoltre un metodo di riconoscimento degli spigoli che compongono il pezzo, ognuno dei quali costituisce l'interfaccia tra due superfici, attraverso l'imposizione di valori limite di inclinazione tra elementi triangolari adiacenti. Uno dei principali svantaggi di queste tecniche, consiste nella imperfezione della costruzione del file STL da parte di alcuni CAD, che portano a errori numerici di arrotondamento che rischiano di falsare il riconoscimento delle entità geometriche; oltre a questo, un ulteriore elemento di svantaggio è dato dalla mancanza d'informazioni qualitative del pezzo, come finitura superficiale e tolleranze, fondamentali per la pianificazione successiva delle lavorazioni.

Per questi motivi, anche nell'ambito CAD, si tende oggi a orientarsi sempre più spesso verso l'utilizzo del formato STEP generalizzato.

STEP (STandard for the Exchange of Product model data), è un formato di scambio dati definito attraverso la serie di standard ISO 10303 (in particolare la norma ISO 10303-21:2001), che può essere utilizzato come interfaccia tra sistemi CAD, CAM, CAE, PDM/EDM, e altri software di vario genere in ambito ingegneristico, secondo diversi protocolli di applicazione per vari campi. Tra questi citiamo i protocolli AP203 (ISO 10303-203:2005), AP214 (ISO 10303-214:2003) e AP224 (ISO 10303-224:2006); AP203 e AP214 sono protocolli di scambio dati molto simili, adottati oggi dalla maggior parte dei sistemi CAD in commercio, che definiscono rispettivamente la forma per lo scambio di dati riguardanti pezzi meccanici generici e pezzi meccanici per l'industria automobilistica.

Questi protocolli hanno quindi lo scopo di fornire dettagliate informazioni sul prodotto, in aggiunta alla geometria, quali topologia, tolleranze, relazioni con altre parti, informazioni sull'assemblaggio ecc. In pratica viene proposta una rappresentazione B-rep della parte, completata con informazioni qualitative riguardo alle superfici e alle tolleranze.

Lo standard ISO 10303-224 definisce il protocollo (AP224) che tratta invece la pianificazione del processo di lavorazione, attraverso definizione della forma in cui presentare i principali tipi di *feature di lavorazione*; attraverso questo protocollo vengono

fornite tutte le informazioni richieste per la realizzazione della parte, come materiale, tolleranze, caratteristiche superficiali, e lavorazioni. Per questo motivo, diversi produttori CAM, si stanno adeguando all'utilizzo di questo protocollo come standard per il trasferimento di dati riguardanti le lavorazioni.

Si capisce quindi come questo tipo di linguaggio possa essere adatto a un lavoro di estrazione di entità geometriche (svolto a partire da file STEP 203/214, ottenuto direttamente da CAD) mediante l'implementazione di tecniche AFR, che permettano di ottenere come obiettivo finale un file STEP 224, contenente tutte le informazioni per la lavorazione.

Il formato STEP (203/214) può essere letto mediante un qualsiasi editor di testo, essendo costituito da caratteri ASCII⁴. Si presenta come una sequenza di stringhe indicanti le principali entità geometriche (punti cartesiani, spigoli di contorno di varia forma, superfici, versori ...) presentati in modo intuitivo.

Con questo formato CAD non è quindi necessario una pre-elaborazione, come visto per l'estensione STL, in quanto le informazioni geometriche, e quindi le *feature di forma*, sono già contenute in modo chiaro nel file; si rende necessaria quindi essenzialmente un'opera di traduzione di queste informazioni, in maniera da rappresentarle in modo consono al riconoscimento di *feature di lavorazione*.

In [3] viene presentato un metodo di estrazione da file STEP 203/214 (in formato ASCII) tramite programma in C++. Le entità geometriche sono basate sulle *feature* definite nel protocollo AP224 del formato STEP per confronto con modelli presenti all'interno di un database, che corrispondono appunto alle *feature* definite dal protocollo stesso.

Un interessante ulteriore esempio di uso del protocollo AP224 per l'AFR viene fornito in [4]; in questo caso viene utilizzato un sistema esperto che si basa su regole logiche, per l'analisi del file STEP (AP203/214) ASCII, dal quale vengono estratte le entità geometriche.

Dopo avere introdotto i formati STL e STEP, risulta doveroso introdurre il formato IGES, ancora molto utilizzato nell'ambito CAD.

Il formato IGES (Initial Graphics Exchange Specification), è un formato di scambio dati tra sistemi CAD introdotto nel 1980 dal National Bureau of Standards, e ripreso dall'ANSI (American National Standards Institute) per la definizione di diversi standard.

La logica su cui si basa la struttura del file è praticamente la stessa del formato STEP; cioè si presenta sotto forma di file ASCII contenente stringhe numeriche, che stanno a indicare altrettante entità geometriche definite in modo univoco.

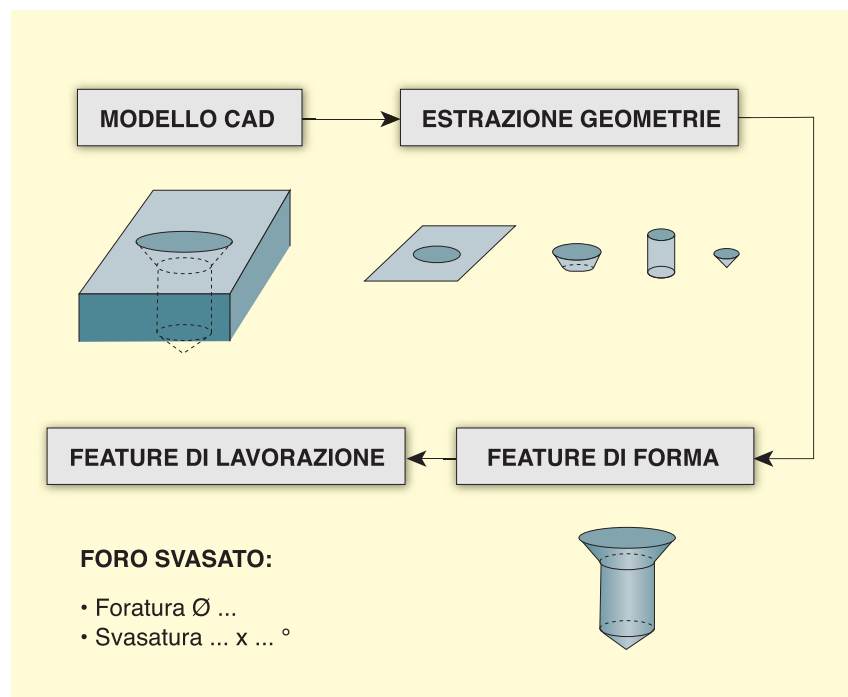


Fig. 3 - Fasi di un processo AFR.

TAB. 1: TIPI DI SUPERFICIE IN BASE AL SEGNO DELLA CURVATURA MEDIA E GAUSSIANA

TIPO DI SUPERFICIE	CURVATURA GAUSSIANA (K)	CURVATURA MEDIA (H)
Picco	+	-
Cava	+	+
Cresta	0	-
Valle	0	+
Cresta a sella	-	-
Valle a sella	-	+
Minimal surface	-	0
Piano	0	0

Anche in questa estensione, vengono fornite informazioni aggiuntive oltre alla semplice geometria, che possono essere utili ai fini della pianificazione successiva della lavorazione; si può pensare quindi al formato IGES come file di partenza per eseguire la estrazione, attraverso strumenti simili a quelli presentati per l'analisi dello STEP.

A oggi in molti campi, inclusi i sistemi CAPP, si tende ad abbandonare l'utilizzo del formato IGES (e di altri formati) per lo scambio dati, a vantaggio del formato STEP per ragioni di standardizzazione (ISO).

Rappresentazione appropriata delle *feature di forma*

Le *feature di forma* estratte da un file creato nell'ambiente CAD vengono talvolta "tradotte" in una rappresentazione particolare, dipendente dal tipo di sistema AFR adottato, volta alla implementazione dell'algoritmo di riconoscimento delle *feature di lavorazione*.

Le *feature di forma* possono quindi essere rappresentate da particolari forme sintattiche o strisce di codice (come nei metodi AFR di riconoscimento sintattico), o da strutture particolari contenenti i dati identificativi; in teoria si potrebbero prevedere anche rappresentazioni con modelli tridimensionali. Naturalmente la forma di presentazione dei dati geometrici dipende oltre che dal tipo di metodo AFR, anche dal tool (software di programmazione) utilizzato per l'implementazione del metodo stesso.

In alcuni sistemi AFR (metodi grafici) si richiede inoltre come input alla fase di riconoscimento delle *feature di lavorazione*, la presentazione delle informazioni geometriche sotto forma di grafici o matrici, nei quali si indicano le relazioni di adiacenza tra le varie *feature di forma*.

Talvolta quindi, oltre alla traduzione in una particolare forma delle informazioni geometriche, si richiede anche una presentazione delle informazioni stesse attraverso una organizzazione specifica.

Riconoscimento delle *feature di lavorazione*: i principali sistemi AFR

Esistono diversi tipi di tecniche AFR. Si differenziano principalmente nel modo in cui vengono riconosciute le *feature di la-*

vorazione (che rappresentano un componente meccanico, a partire dalle *feature di forma* estratte da un file di uscita da software CAD).

La maggior parte dei sistemi AFR eseguono l'associazione tra *feature di forma* e *feature di lavorazione* seguendo regole logiche di tipo IF-THEN: le *feature identificate* sono confrontate con campioni presenti nella libreria attraverso opportune regole.

Naturalmente la libreria di modelli di lavorazione creata nel sistema, viene definita in base alla realtà industriale con cui si ha a che fare, e quindi in base alla esperienza aziendale specifica per ogni settore e a eventuali lavorazioni ricorrenti.

Il principale svantaggio in questo caso è la mancanza di un meccanismo di acquisizione automatica delle conoscenze, che diventa un problema quando *feature di forma* estratte non possono essere associate a nessun modello di lavorazione.

Queste limitazioni possono essere superate da tecniche AFR alternative per il riconoscimento di *feature di forma* e/o di *lavorazione*.

Tali tecniche AFR (che saranno illustrate in dettaglio in futuri articoli) possono essere classificate nelle seguenti principali categorie: (1) metodi di riconoscimento sintattico; (2) regole logiche (IF-THEN) e sistemi esperti; (3) metodi di approccio grafico; (4) decomposizione volumetrica tramite il metodo del guscio connesso; (5) decomposizione volumetrica basata sulle celle; (6) approccio basato su indizi; (7) approcci ibridi.

Ringraziamenti

Ricerca bibliografica sviluppata dagli studenti Francesconi, Matteucci e Pagni nell'ambito dell'insegnamento di Studi di Fabbri- cazione del Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Meccanica anno accademico 2008-09, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Pisa.

Bibliografia

- [1] E. Gawlik, The analysis of methods for Computer Aided Process Planning, International Workshop CA Systems and Technologies n. 17 (2002).
- [2] V.B. Sunil, S.S. Pande, Automatic recognition of features from freeform surface CAD models, Computer-Aided Design n. 40 (2008) 502-517.
- [3] M.P. Bhandarkar, R. Nagi, STEP-based feature extraction from STEP geometry for agile manufacturing, Computers in Industry n. 41 (2000) 3-24.
- [4] R. Sharma, J.X. Ghao, Implementation of STEP application protocol 224 in automated manufacturing planning system, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers (Part B) n. 216 (2002) 1277-1289.

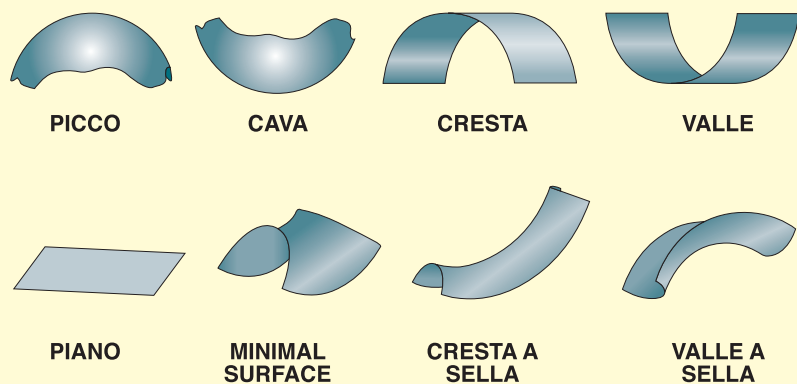


Fig. 4 Otto tipi fondamentali di superficie.